

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

28. 6. 2004

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日  
Date of Application: 2003年 6月13日

出願番号  
Application Number: 特願2003-168911

[ST. 10/C]: [JP2003-168911]

出願人  
Applicant(s): 帝人株式会社

REC'D 22 JUL 2004

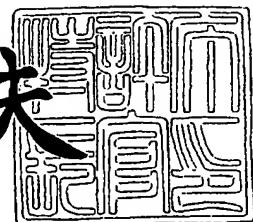
WIPO PCT

PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 6月21日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



【書類名】 特許願  
【整理番号】 P36973  
【提出日】 平成15年 6月13日  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 G01N 29/18  
A61M 16/10

## 【発明者】

【住所又は居所】 東京都日野市旭が丘4丁目3番2号 帝人株式会社 東京研究センター内

【氏名】 藤本 直登志

## 【特許出願人】

【識別番号】 000003001

【氏名又は名称】 帝人株式会社

## 【代理人】

【識別番号】 100099678

## 【弁理士】

【氏名又は名称】 三原 秀子

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 206048

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0203001

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 酸素濃縮装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 空気中から酸素を分離する酸素濃縮手段、酸素濃縮手段の下流の酸素濃縮ガスの流れる配管中に対向させて配置した2つの超音波振動子、受信超音波のゼロクロス時間検出手段を具備した酸素濃縮装置において、該ゼロクロス時間検出手段が、酸素濃縮ガスの流れに対して順方向に送受信された超音波の受信波形から2つ以上の連続した順側ゼロクロス時間と、酸素濃縮ガスの流れに対して逆方向に送受信された超音波の受信波形から2つ以上の連続した逆側ゼロクロス時間を検出し、該順側ゼロクロス時間と該逆側ゼロクロス時間のトリガ検出位置を揃え、該トリガ検出位置の揃った順側ゼロクロス時間と逆側ゼロクロス時間の平均値から平均ゼロクロス時間を算出し、真の超音波伝播時間の取り得る範囲に入るまで、該平均ゼロクロス時間から受信超音波の1周期分の時間を整数倍巻き戻すことによって真の超音波伝播時間を演算する演算手段を備えることを特徴とする酸素濃縮装置。

【請求項 2】 該真の超音波伝播時間の取り得る範囲を、酸素濃縮ガスの濃度範囲および温度範囲から導き出すことを特徴とする請求項1に記載の酸素濃縮装置。

【請求項 3】 該超音波振動子の間の距離が、酸素濃縮ガスの濃度範囲および温度範囲に基づいて、静止した酸素濃縮ガス中で超音波の送受信を実施した際に得られる真の超音波伝播時間の取り得る範囲の幅が受信超音波の1周期分の時間未満になる距離に設定されていることを特徴とする請求項1または2に記載の酸素濃縮装置。

【請求項 4】 該酸素濃縮ガスの流れる配管の中に、酸素濃縮ガスの温度を測定するための温度センサを備えたことを特徴とする請求項1～3のいずれか1項に記載の酸素濃縮装置。

【請求項 5】 該超音波振動子の間の距離(L)が、次式を満たすことを特徴とする請求項1～4のいずれかに1項に記載の酸素濃縮装置。

$$L/C_{\min}(T_{\min}) - L/C_{\max}(T_{\min}) < 1/fr$$

但し、

$C_{\min}(T_{\min})$ ：酸素濃縮ガスの温度下限値 ( $T_{\min}^{\circ}\text{C}$ )において、酸素濃縮ガスの濃度範囲から計算される静止酸素濃縮ガス中を伝播する超音波の理論的音速範囲の下限値 [m/sec]

$C_{\max}(T_{\min})$ ：酸素濃縮ガスの温度下限値 ( $T_{\min}^{\circ}\text{C}$ )において、酸素濃縮ガスの濃度範囲から計算される静止酸素濃縮ガス中を伝播する超音波の理論的音速範囲の上限値 [m/sec]

$f_r$ ：酸素濃縮ガス中を伝播する超音波の受信周波数 [Hz]

**【請求項 6】** 該演算手段が、該トリガ検出位置の揃った順側ゼロクロス時間と逆側ゼロクロス時間の差を求め、請求項 1 に記載の装置にて獲得された真の超音波伝播時間と該順側ゼロクロス時間と該逆側ゼロクロス時間の差から、酸素濃縮ガスの流れに対して順逆双方向での音速の差を求ることにより、酸素濃縮ガスの流量を演算する手段であることを特徴とする請求項 1～5 のいずれか 1 項に記載の酸素濃縮装置。

**【請求項 7】** 該配管の内半径が、酸素濃縮ガスの濃度範囲、温度範囲、および流量範囲に基づいて、酸素濃縮ガスの流れに対して順逆双方向にて得られる超音波伝播時間の差が、受信超音波の 1 周期分の時間未満になるように設定することを特徴とする請求項 1～6 のいずれか 1 項に記載の酸素濃縮装置。

**【請求項 8】** 該配管の内半径( $r$ )が下記式の条件を満たすことを特徴とする請求項 1～7 のいずれか 1 項に記載の酸素濃縮装置。

$$\frac{L}{(C_{\min}(T_{\min}) - Q_{\max}/(60000 \pi r^2))} - \frac{L}{(C_{\min}(T_{\min}) + Q_{\max}/(60000 \pi r^2))} < 1/f_r$$

但し、

$L$ ：超音波振動子間の距離

$C_{\min}(T_{\min})$ ：酸素濃縮ガスの温度下限値 ( $T_{\min}^{\circ}\text{C}$ )において、酸素濃縮ガスの濃度範囲から計算される静止酸素濃縮ガス中を伝播する超音波の理論的音速範囲の下限値 [m/sec]

$Q_{\max}$ ：酸素濃縮ガスの流量上限値 [L/min]

$f_r$ ：酸素濃縮ガス中を伝播する超音波の受信周波数 [Hz]

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## 【発明の属する技術分野】

本発明は、超音波により、酸素濃縮ガスの酸素濃度及び流量を測定する手段を備えた酸素濃縮装置に関するものである。

## 【0002】

## 【従来の技術】

サンプルガス中を伝播する超音波の伝播速度は、サンプルガスの濃度、温度の関数として表されることが広く知られている。サンプルガスの平均分子量をM、温度をT[K]とすれば、サンプルガス中の超音波伝播速度C[m/sec]は、次式で表される。

## 【0003】

## 【数1】

$$C = \sqrt{\frac{kRT}{M}}$$

## 【0004】

ここで、k、Rは定数 (k: 定積モル比熱と定圧モル比熱の比、R: 気体定数) である。すなわち、サンプルガス中の超音波伝播速度C[m/sec]とサンプルガスの温度T[K]が測定できれば、サンプルガスの平均分子量Mを決定できる。該サンプルガスが、例えば酸素と窒素の2分子からなるガスであれば、k = 1.4となることが知られている。該サンプルガスの平均分子量Mは、酸素の分子量を32、窒素の分子量を28として、例えば酸素100×P[%] ( $0 \leq P \leq 1$ ) と窒素100×(1-P)[%]の場合においては、 $M = 32P + 28(1-P)$ と記述することができ、測定された平均分子量Mから酸素濃度Pを決定できる。また、サンプルガス中の超音波伝播速度がC[m/sec]、サンプルガスの流速がV[m/sec]であったとき、サンプルガスの流れに対して順方向に超音波を送信したときに測定される超音波伝播速度V<sub>1</sub>[m/sec]は、 $V_1 = C + V$ 、逆方向に超音波を送信したときに測定される超音波伝播速度V<sub>2</sub>[m/sec]は、 $V_2 = C - V$ となるので、サンプルガスの流速V[m/sec]は、次式2で求めるこ

とができる。

### 【0005】

#### 【数2】

$$V = \frac{V_1 - V_2}{2}$$

### 【0006】

これにサンプルガスの流れている配管の内面積[m<sup>2</sup>]を乗じることで、サンプルガスの流量[m<sup>3</sup>/sec]を求めることができる。さらに体積換算、時間換算を行えば、流量を[L/min]で求めることも容易である。該原理を利用し、サンプルガス中を伝播する超音波の伝播速度もしくは伝播時間からサンプルガスの濃度、流量を測定する方法及び装置に関しては、種々の提案が行われている。たとえば、特開平6-213877号公報には、サンプルガスが通る配管中に超音波振動子2つを対向させて配置し、該超音波振動子間を伝播する超音波の伝播時間を計測することによってサンプルガスの濃度及び流量を測定する装置が記載されている。また、特開平7-209265号公報や特開平8-233718号公報には、超音波振動子1つを使用した音波反射方式でセンシングエリア内を伝播する超音波の伝播速度もしくは伝播時間を測定することにより、サンプルガスの濃度を測定する装置が記載されている。さらに、サンプルガスを構成する分子の数が2種類であれば、先述の通り容易にサンプルガスの濃度を特定することが可能であるが、酸素濃縮装置から出力される酸素濃縮ガスには、酸素、窒素以外に、アルゴンが含まれる。その場合の酸素濃度の特定方法は、特開2003-135601号公報や、特開2003-137510号公報に記載されている。

### 【0007】

#### 【特許文献1】

特開平6-213877号公報

#### 【特許文献2】

特開平7-209265号公報

#### 【特許文献3】

特開平8-233718号公報

【特許文献4】

特開2003-135601号公報

【特許文献5】

特開2003-137510号公報

【特許文献6】

特開平9-318644号公報

【特許文献7】

特開昭60-138422号公報

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

このような超音波の伝播速度を用いてサンプルガスの濃度および流量を正確に測定する方法および装置においては、超音波の伝播時間を正確に検出しなければならない。しかし、超音波の受信波形には常にノイズ成分が含まれており、超音波を受信した瞬間の時間を直接検出することは非常に困難であり、一般的に複雑な信号処理手法や、複雑なハードウェアを搭載することにより、超音波伝播時間を探定する方法が用いられている。

【0009】

たとえば、特開平9-318644号公報には、受信された超音波波形を積分し、その積分出力が基準値に達したのちにおける受信波のゼロクロス時間を流速測定のための超音波伝播時間とする方法が記載されている。該方法により、受信波形の振幅が多少変動したとしてもゼロクロスのタイミングが変動しないため、受信波の到達時間に比較的近い位置でのゼロクロス時間を獲得できるが、残念ながら獲得されるゼロクロス時間は真の超音波伝播時間ではなく、とりわけ濃度測定においては真の超音波伝播時間と検出されたゼロクロス時間との差異が測定誤差に大きく影響する。

【0010】

また、特開昭60-138422号公報には、受信波形の包絡線波形から算出された近似式に基づいて包絡線波形の立ち上がり時間を検出し、真の超音波伝播時間とす

る方法が記載されている。しかし、包絡線波形から超音波伝播時間を推定する方法においては、包絡線波形を得るために受信波形をサンプリングするためのハードウェアを必要とし、また、包絡線を計算するために複雑な信号処理を必要とするため、安価で小型の装置を作成することが困難であった。

### 【0011】

本発明は、複雑な信号処理やハードウェアを必要とせずに酸素濃縮ガスの酸素濃度および流量を測定する方法、および、必要最小限の部品のみを用いることで安価かつ小型の超音波式ガス濃度流量測定手段を搭載した酸素濃縮装置を提供することを目的としている。

### 【0012】

#### 【課題を解決するための手段】

本発明者らは、かかる目的を達成するために銳意研究した結果、空气中から酸素を分離する酸素濃縮手段、酸素濃縮手段の下流の酸素濃縮ガスの流れる配管中に対向させて配置した超音波振動子2つ、受信超音波のゼロクロス時間検出回路を具備する酸素濃縮装置において、酸素濃縮ガスの取り得る濃度範囲、および、温度範囲から、酸素濃縮ガス中を伝播する超音波の音速の取り得る範囲を事前に知ることで好適な超音波振動子間距離を設定し、さらに、酸素濃縮ガスの取り得る流量範囲から好適な配管内半径を設定すれば、酸素濃縮ガスの温度と連続した2つ以上のゼロクロス時間のみを検出することで、受信超音波の波形情報を獲得することなく、静止した酸素濃縮ガス中における超音波伝播時間、および、酸素濃縮ガスの流れに対し順逆双方向での超音波伝播時間差を正確に検出でき、酸素濃縮ガスの酸素濃度、および流量を測定することができるを見出したものである。

### 【0013】

#### 【発明の実施の形態】

以下に実施例を示す。本実施例では、酸素濃縮ガスの酸素濃度範囲が21[%O<sub>2</sub>]～95[%O<sub>2</sub>]である場合について示す。酸素濃度が21[%O<sub>2</sub>]の場合は、酸素が濃縮されていない大気を測定する場合を想定している。また、酸素濃縮ガスの流量範囲は0～10[L/min]であり、該酸素濃縮ガスの温度範囲は、5[°C]～35[°C]である場

合に関して示す。また、本実施例では、中心周波数が40[kHz]の超音波振動子を使用する。本発明によって測定できる酸素濃縮ガスの取り得る濃度範囲、温度範囲は本実施例における範囲に限定されるものではなく、他の範囲においても容易に適用できる。さらに、超音波振動子の中心周波数も40[kHz]に限定されるものではなく、他の中心周波数を持つ超音波振動子に対しても容易に適用できる。

#### 【0014】

本実施例における酸素濃縮装置の構成は、図1に示す通りである。かかる例は圧力変動吸着型酸素濃縮装置の例を示すが、酸素発生手段としてはその他、酸素富化膜、固体電解質膜など各種の発生手段を採用することができる。該酸素濃縮装置10は、原料ガスとして空気を吸い込み、フィルタ11を介して該空気を酸素濃縮手段13に送り込むコンプレッサ12、空气中から酸素を分離する酸素濃縮手段13、酸素濃縮手段13の下流に、以下に記載の超音波式酸素濃度流量測定手段15を備える。

#### 【0015】

超音波式酸素濃度流量測定手段15の構成は図2に示すとおりである。酸素濃縮ガスの流れる配管1の中に2つの超音波振動子2を対向させて配置し、該超音波振動子2の送受信を切り替える切り替え器4、該超音波振動子2に超音波送信パルスを伝えるドライバ5、超音波受信波形のゼロクロス時間を検出するゼロクロス時間検出回路6、酸素濃縮ガスの濃度、流量を算出するためのマイクロコンピュータ7、及び、配管1の中に酸素濃縮ガスの温度を測定する温度センサ3を備える。尚、対向させて配置するとは、送信した超音波を反対側の超音波振動子が受信できる位置に配置するという意味であり、配管が直管の場合には向き合って発信面、受信面が平行に配置するのが好ましい。配管自体はU字管など曲がっていてよい。温度センサ3は、酸素濃縮ガスの温度を測定できる場所であれば、配管1から離れた場所に設置しても良い。また、体積流量を質量流量に換算するために使用する圧力センサを備えても良い。

#### 【0016】

超音波の送受信により、受信超音波のゼロクロス時間を検出する方法は各種提案されている。最も簡便な方法は、ゼロクロスコンパレータを搭載し、コンパレ

ータ出力の立ち上がりエッジ、もしくは、立ち下りエッジを検出するものである。図3に超音波受信波形の一例を示す。超音波の受信波形には各種ノイズ成分が含まれるため、正確にゼロクロス時間を検出するためには、受信振幅が十分大きくなつたところでゼロクロスコンパレータの出力を獲得することが望ましい。すなわち、獲得されるゼロクロス時間は受信超音波の第1波目ではなく、それ以降の例えば第2波目や、第3波目にて得られることになる。図4に、本実施例でのゼロクロス時間検出回路6におけるゼロクロス時間検出方法を示す。ゼロクロス検出回路6には、ノイズレベルよりも十分大きい電圧値にて受信波形の存在を検出するためのトリガコンパレータ、および、トリガコンパレータの出力が発生した時間（図4中のトリガ検出位置）以降のゼロクロス時間を検出できるゼロクロスコンパレータを含む。獲得するゼロクロス時間は1点ではなく、連続した数点を取ることが望ましい。本実施例においては、連続した3点のゼロクロス時間（図4中のZc1、Zc2、Zc3）を獲得することとした。

#### 【0017】

受信超音波のゼロクロス間隔は、常に中心周波数から計算される1周期分の時間間隔となるはずである。中心周波数40[kHz]の超音波振動子を用いる場合の1周期分の時間は、 $1/40000[\text{sec}] = 25[\mu\text{sec}]$ となる。すなわち、ゼロクロス検出回路6にて得られた先頭のゼロクロス時間は超音波受信時間そのものではないが、該ゼロクロス時間から $25[\mu\text{sec}]$ の整数倍を巻き戻した時間のいずれかに真の超音波受信時間が存在することになる。

#### 【0018】

すなわち、獲得されたゼロクロス時間が第何波目以降のゼロクロス時間であるか不明であっても、先述の超音波伝播時間の取り得る範囲内に、該ゼロクロス時間から1周期の整数倍だけ巻き戻して得られる時間が常に1つだけ存在する振動子間距離Lを設定することで、容易に真の超音波伝播時間を推定できることになる。

#### 【0019】

受信超音波の正確な周波数があらかじめ分かっていない場合には、連続したゼロクロス時間を数点獲得することで、各ゼロクロス時間の間隔を計算することが

でき、該ゼロクロス時間の間隔から周波数を計算することもできる。

### 【0020】

以下、超音波振動子間の距離を好適に設定する方法に関して示す。酸素濃縮ガスの濃度範囲が既知であれば、各温度での流速ゼロにおける酸素濃縮ガス中を伝播する音速の範囲は、式1を用いて容易に計算できる。酸素の分子量を32、窒素の分子量を28、アルゴンの分子量を40、酸素・窒素の比熱比を1.4、アルゴンの比熱比を1.667とすれば、例えば、温度20℃の場合において、酸素濃度21%の場合（酸素が濃縮されていない大気の場合：酸素21%、窒素78%、アルゴン1%とする）の音速は式1より、343.6[m/sec]となる。さらに、本実施例における酸素濃縮装置10の出力する酸素濃度が最大に達する状態は、酸素濃度95%、窒素濃度1%、アルゴン濃度4%となることが判明しており、その場合の音速は、326.4[m/sec]と計算される。すなわち、酸素濃縮ガスの酸素濃度が変化した場合において、20℃における酸素濃縮ガス中の音速は、常に326.4[m/sec]～343.6[m/sec]の範囲に収まることになり、該範囲の両端を音速の上限、下限とする。酸素濃縮ガスの温度の取り得る範囲である5℃～35℃において計算される、温度と音速の関係をグラフ化したものを、図5に示す。図5にて明らかなように、音速Cの上限、下限は温度Tの関数として表すことができ、温度Tにおける音速の上限をC<sub>max</sub>(T)、下限をC<sub>min</sub>(T)とする。

### 【0021】

次に好適にしたい振動子間距離をL<sub>S</sub>[m]とする。音速の取り得る範囲が先述の通りあらかじめ分かっているため、超音波伝播時間の取り得る範囲は、L<sub>S</sub>を用いて表すことができる。すなわち超音波伝播時間の取り得る範囲は、L<sub>S</sub>/C<sub>max</sub>(T)[sec]～L<sub>S</sub>/C<sub>min</sub>(T)[sec]である。

### 【0022】

該超音波伝播時間の取り得る範囲に、ゼロクロス時間検出回路6にて得られる該ゼロクロス時間から1周期の整数倍だけ巻き戻して得られる時間が常に1つだけにするためには、伝播時間の取り得る範囲が超音波の1周期分の時間未満であれば良い（図10）。超音波の周波数をfr[Hz]とすれば、1周期の時間は1/fr[s ec]となる。すなわち、下記式3を常に満たすL<sub>S</sub>を選定すれば良い。

【0023】

【数3】

$$L_s / C_{\min}(T) - L_s / C_{\max}(T) < 1/f_r$$

【0024】

“ $L_s / C_{\min}(T) - L_s / C_{\max}(T)$ ” の値を最大にする温度Tは、本実施例においては酸素濃縮ガスの温度範囲下限の5°Cである。5°Cにおける $C_{\max}(5°C)$ 、 $C_{\min}(5°C)$ はそれぞれ、 $C_{\max}(5°C) = 334.7[\text{m/sec}]$ 、 $C_{\min}(5°C) = 317.9[\text{m/sec}]$ となる。さらに、本実施例における超音波の周波数 $f_r$ は、 $f_r = 40[\text{kHz}] = 40000[\text{Hz}]$ であるため、式3を満たす振動子間距離 $L_s$ は、 $L_s < 15.8[\text{cm}]$ となり、およそ15[cm]未満の振動子間距離となるように2つの超音波振動子2を設置すれば良いことになる。ただし、該振動子間距離をあまりに短くしすぎると、超音波を送受信した際に得られる超音波伝播時間が非常に短くなることとなり、時間計測分解能の面から不利となる。また、計算上の振動子間距離の上限となる15.8cm近傍の振動子間距離を採択した場合、例えば、酸素濃縮ガスの実際の温度が設計上の使用温度下限とした5°Cであるにもかかわらず、温度センサ3の出力誤差によって実際よりも低い温度を測定してしまった場合や、酸素濃縮装置10の使用者の不注意によって該酸素濃縮装置10を5°Cよりも下回る温度環境下に設置してしまった場合には、マイクロコンピュータ7における計算上の音速測定値が $C_{\min}(5°C) \sim C_{\max}(5°C)$ の範囲を飛び出してしまうことも考えられる。さらに、超音波振動子2の中心周波数にはバラツキがあり、例えば実際に使用した超音波振動子2の中心周波数が42kHzであった場合には、式(3)による計算結果は15.1cmとなり、理想状態における計算値の15.8cmよりも短い振動子間距離を設定しなければならないことになる。製品として酸素濃縮装置10を実現する場合には、該状況を十分考慮に入れた設計を実施する必要性があり、本実施例においては、現実的に存在しうる使用環境、および、温度センサ3の測定精度やマイクロコンピュータ7の時間測定分解能、超音波振動子2の中心周波数のバラツキ等を考慮した結果、振動子間距離として10[cm]を採用した。

【0025】

流量を測定するためには、酸素濃縮ガスの流れに対して、順逆双方向に超音波送受信を実施し、順側ゼロクロス時間と逆側ゼロクロス時間の両方を必要とする。順側ゼロクロス時間と逆側ゼロクロス時間が、常に同じトリガ検出位置にて獲得されたものであれば、図6に示すとおり、順側ゼロクロス時間と逆側ゼロクロス時間の差（図6中のAの間隔）＝超音波の伝播時間差（図6中の $t_d$ ）となり得る。図6では、順側ゼロクロス時間、逆側ゼロクロス時間共に、第2波目にてトリガ検出された場合を示している。しかしながら、超音波の受信波形は順逆双方で全く同一になる保証はなく、ゼロクロス検出回路6内のトリガコンバレータで検出されるトリガ検出位置が順逆にて揃わない可能性がある。

#### 【0026】

そこで、順逆双方向にて得られる超音波の伝播時間差 $t_d$ が、常に受信超音波の1周期分未満の時間となるように酸素濃縮ガスの流れる配管1の内半径を設定すれば、トリガ検出位置が順逆にて揃わなかった場合においても容易にトリガ検出位置を揃えることが可能となる。例えば、酸素濃縮ガスの流れに対して順方向に超音波送受信を実施して得られたトリガ検出位置が第3波目であり、逆方向に超音波送受信した場合に得られたトリガ検出位置が第2波目であった場合を図7に示す。

#### 【0027】

順逆にてトリガ検出位置が揃っていたと仮定して順側ゼロクロス時間と逆側ゼロクロス時間の差を計算すると、その値は負の値となる（図7中のA）。酸素濃縮ガスの流量範囲が0～10[L/min]であれば、伝播時間の差が負になることはありえないため、容易にトリガ検出位置が揃っていなかったことを検出でき、図7中のBを真の伝播時間差として採択することが可能となる。

#### 【0028】

逆に、酸素濃縮ガスの流れに対して順方向に超音波送受信を実施して得られたトリガ検出位置が第2波目であり、逆方向に超音波送受信した場合に得られたトリガ検出位置が第3波目であった場合を図8に示す。順逆にてトリガ検出位置が揃っていたと仮定して順側ゼロクロス時間と逆側ゼロクロス時間の差を計算すると、その値は超音波の1周期分の時間を上回る値となる（図8中のA）。しかし

ながら、超音波の伝播時間差 $t_d$ が、常に受信超音波の1周期分未満の時間となるよう設計されていれば、伝播時間の差が受信超音波の1周期分以上になることはありえないため、この場合も容易にトリガ検出位置が揃っていなかったことを検出でき、図8中のBを真の伝播時間差として採択することが可能となる。

### 【0029】

以下、酸素濃縮ガスの流れる配管1の内半径を好適に設定する方法に関して示す。酸素濃縮ガスの流量を $Q[\text{L}/\text{min}]$ とすれば、酸素濃縮ガスの流れる配管1の内半径を $r[\text{m}]$ とした場合、該配管1中の流速 $V[\text{m}/\text{sec}]$ は、次の式4の範囲にて表される。

### 【0030】

#### 【数4】

$$0 \leq V \leq Q/(60000 \pi r^2)$$

### 【0031】

酸素濃縮ガスの流れに対して順方向に超音波を送信した場合に観測される音速 $V_1[\text{m}/\text{sec}]$ は、酸素濃縮ガスが静止している場合の音速を $C[\text{m}/\text{sec}]$ として、 $V_1 = C + V$ 、また、酸素濃縮ガスの流れに対して逆方向に超音波を送信した場合に観測される音速 $V_2[\text{m}/\text{sec}]$ は、 $V_2 = C - V$ 、として観測される。酸素濃縮ガスの流れに対して順逆双方向に超音波送受信を実施した際に観測される伝播時間の差を $t_d[\text{sec}]$ とすると、 $t_d$ は振動子間距離を $L_s[\text{m}]$ として、式5で表すことができる。

### 【0032】

#### 【数5】

$$\begin{aligned} t_d &= L_s / V_2 - L_s / V_1 \\ &= L_s / (C - V) - L_s / (C + V) \end{aligned}$$

### 【0033】

したがって、伝播時間の差 $t_d$ が常に受信超音波の1周期分未満の時間となるようにするために、常に式6を満たす内半径 $r$ を選定すれば良い。

### 【0034】

## 【数6】

$$L_s/(C - Q/(60000 \pi r^2)) - L_s/(C + Q/(60000 \pi r^2)) < 1/fr$$

## 【0035】

本実施例において、式6の左項を最大とするC、Qの条件は、 $C = C_{min}(5°C) = 317.9[m/sec]$ 、 $Q = 10[LPM]$ である。さらに、振動子間距離 $L_s = 10[cm] = 0.1[m]$ 、超音波の周波数 $fr = 40[kHz] = 40000[Hz]$ を式6に代入すると、 $r > 2.051[mm]$ となり、配管1の内半径が $2.051[mm]$ を上回るようにすれば良いことになる。該内半径を設定する場合も、振動子間距離を設定する場合と同様、該内半径が大きければ大きいほうが良いというわけではない。該内半径を大きくしていくと、配管1内を流れる酸素濃縮ガスの流速は小さくなつていき、酸素濃縮ガスの流れに対して順逆に超音波を送受信した際に得られる超音波伝播時間の差は小さくなついくこととなり、時間計測分解能の面から不利となる。また、計算上の下限となる値近傍の内半径を選択した場合にも、振動子間距離を設定する場合と同様に不都合を生じる可能性が高く、本実施例においては、現実的に存在しうる使用環境、および、マイクロコンピュータ7の時間測定分解能、超音波振動子2の中心周波数のバラツキ等を考慮した結果、配管1の内半径として $2.5[mm]$ を採用した。

## 【0036】

以下、本実施例における酸素濃縮装置10に搭載された超音波式酸素濃度流量測定手段15による酸素濃縮ガスの酸素濃度、および、流量測定方法について述べる。コンプレッサ12がフィルタ11を介して原料ガスとして空気を吸い込み、該空気を酸素濃縮手段13に送り込む。酸素濃縮手段13は、空气中から窒素を選択的に吸着することにより酸素濃縮ガスを送り出す。送り出された酸素濃縮ガスは、超音波式酸素濃度流量測定手段15へ投入される。

## 【0037】

該超音波式酸素濃度流量測定手段15は、酸素濃縮ガス投入中において、マイクロコンピュータ7より超音波の送信パルスをドライバ5に送り、送受信切り替え器4によって酸素濃縮ガスの流れと順方向に超音波を送信するように選択された超音波振動子2にパルス電圧が印加され、超音波が送信される。もう一方の超音波

振動子2によって受信された超音波は、送受信切り替え器4を介して、ゼロクロス検出回路6に入力され、得られた順側ゼロクロス時間3つ（ZcF1、ZcF2、ZcF3）をマイクロコンピュータ7に送る。その後、マイクロコンピュータ7より超音波の送信パルスをドライバ5に送り、送受信切り替え器4によって酸素濃縮ガスの流れと逆方向に超音波を送信するように選択された超音波振動子2にパルス電圧が印加され、超音波が送信される。もう一方の超音波振動子2によって受信された超音波は、送受信切り替え器4を介して、ゼロクロス検出回路6に入力され、得られた逆側ゼロクロス時間3つ（ZcB1、ZcB2、ZcB3）をマイクロコンピュータ7に送る。

#### 【0038】

以上の操作によって酸素濃縮ガスの流れに対して順逆双方向にて得られた順側ゼロクロス時間と逆側ゼロクロス時間から、図6～図8に示した方法により、トリガ検出位置を揃えた超音波の伝播時間の差 $t_d$ を算出する。 $t_d$ の算出には、図6中に示されたAの値、もしくは、図7、図8中に示されたBの値を加算平均することで、時間検出誤差を減少させることができる。さらに、順側ゼロクロス時間と逆側ゼロクロス時間のトリガ検出位置を揃えた最初のゼロクロス時間の平均ゼロクロス時間 $Zc\_ave$ を算出する。 $Zc\_ave$ は、酸素濃縮ガスの流量がゼロの時に超音波送受信を行った際に得られるゼロクロス時間であると見なすことができる。例えば図6に示した状態であれば、 $Zc\_ave$ は次の式7で求めることができる（図9）。

#### 【0039】

#### 【数7】

$$Zc\_ave = (ZcF1 + ZcB1) / 2$$

#### 【0040】

同様に図7に示した状態であれば、式8にて求めることができる（図示せず）。

#### 【0041】

【数8】

$$Zc\_ave = (ZcF1 + ZcB2) / 2$$

【0042】

更に図8に示した状態であれば、式9にて求めることができる（図示せず）。

【0043】

【数9】

$$Zc\_ave = (ZcF2 + ZcB1) / 2$$

【0044】

続いて、マイクロコンピュータ7は、2つの超音波振動子間の距離を $L_s$ [m]とし（本実施例においては、 $L_s=0.1$ [m]）、温度センサ3の出力T°Cを読み取り、酸素濃縮ガスの温度T°Cに応じた超音波伝播時間の範囲 $L_s/C_{max}(T)$ [sec]～ $L_s/C_{min}(T)$ [sec]を計算する。さらに、該平均ゼロクロス時間 $Zc\_ave$ から該超音波伝播時間の範囲に入るまで、受信超音波の1周期分の時間＝25[μsec]の整数倍を巻き戻していく、超音波伝播時間 $t_s$ [sec]を確定する（図10）。この結果より、静止した酸素濃縮ガス中の超音波伝播速度 $C_s$ [m/sec]は次式10にて求めることができる。

【0045】

【数10】

$$C_s = L_s / t_s$$

【0046】

静止した酸素濃縮ガス中の超音波伝播速度 $C_s$ が特定できれば、該酸素濃縮ガスの温度Tも温度センサ3によって既知であるため、例えば特開2003-135601号公報や、特開2003-137510号公報に記載されている方法にて酸素濃度を特定することが可能となる。

【0047】

上記の計算は、マイクロコンピュータ7にて実施され、濃度測定結果は表示器8

に表示される。

### 【0048】

流量測定時には、先に求めた静止した酸素濃縮ガス中の超音波伝播時間 $t_s$ と、超音波伝播時間差 $t_d$ を用いて、酸素濃縮ガスの流れに対して順方向に超音波の送受信を実施した際の超音波伝播時間 $t_{s1}$ 、逆方向に超音波の送受信を実施した際の超音波伝播時間 $t_{s2}$ を式11、式12によって求める。

### 【0049】

#### 【数11】

$$t_{s1} = t_s - t_d / 2$$

### 【0050】

#### 【数12】

$$t_{s2} = t_s + t_d / 2$$

### 【0051】

すなわち、酸素濃縮ガスの流れに対して順方向に超音波を送信したときに測定される超音波伝播速度 $V_{s1}$ [m/sec]、逆方向に超音波を送信したときに測定される超音波伝播速度 $V_{s2}$ [m/sec]は、それぞれ次式によって求めることができる。

### 【0052】

#### 【数13】

$$V_{s1} = L_s / t_{s1}$$

### 【0053】

#### 【数14】

$$V_{s2} = L_s / t_{s2}$$

### 【0054】

さらに、式2より、酸素濃縮ガスの流速 $V_s$ [m/sec]は次式で求めることができる。

【0055】

【数15】

$$V_s = \frac{V_{s1} - V_{s2}}{2}$$

【0056】

流速 $V_s$ [m/sec]が求まれば、酸素濃縮ガスの流れる配管1の内半径を $r_s$ [m]とすれば、流量 $Q_s$ [L/min]は式16によって求めることができる。

【0057】

【数16】

$$Q_s = 60000 \pi r^2 V_s$$

【0058】

上記の計算は、マイクロコンピュータ7において実施され、流量測定結果は表示器8に表示される。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の酸素濃縮装置の構成を示す概略図。

【図2】

本発明の超音波式酸素濃度流量測定手段の構成を示す概略図。

【図3】

超音波受信波形の一例。

【図4】

ゼロクロス時間検出回路によるゼロクロス時間検出方法の例。

【図5】

温度と音速の関係。

【図6】

トリガ検出位置が揃っている場合の超音波伝播時間差とゼロクロス時間の間隔との関係。

【図7】

順方向に超音波送受信を実施して得られたトリガ検出位置に対し、逆方向に超音波送受信した場合に得られたトリガ検出位置が1周期分だけ前方であった場合の超音波伝播時間差とゼロクロス時間の間隔との関係。

#### 【図8】

順方向に超音波送受信を実施して得られたトリガ検出位置に対し、逆方向に超音波送受信した場合に得られたトリガ検出位置が1周期分だけ後方であった場合の超音波伝播時間差とゼロクロス時間の間隔との関係。

#### 【図9】

静止した酸素濃縮ガス中にて超音波送受信を行った際に得られるゼロクロス時間を求める例。

#### 【図10】

静止した酸素濃縮ガス中の超音波伝播時間を求める例。

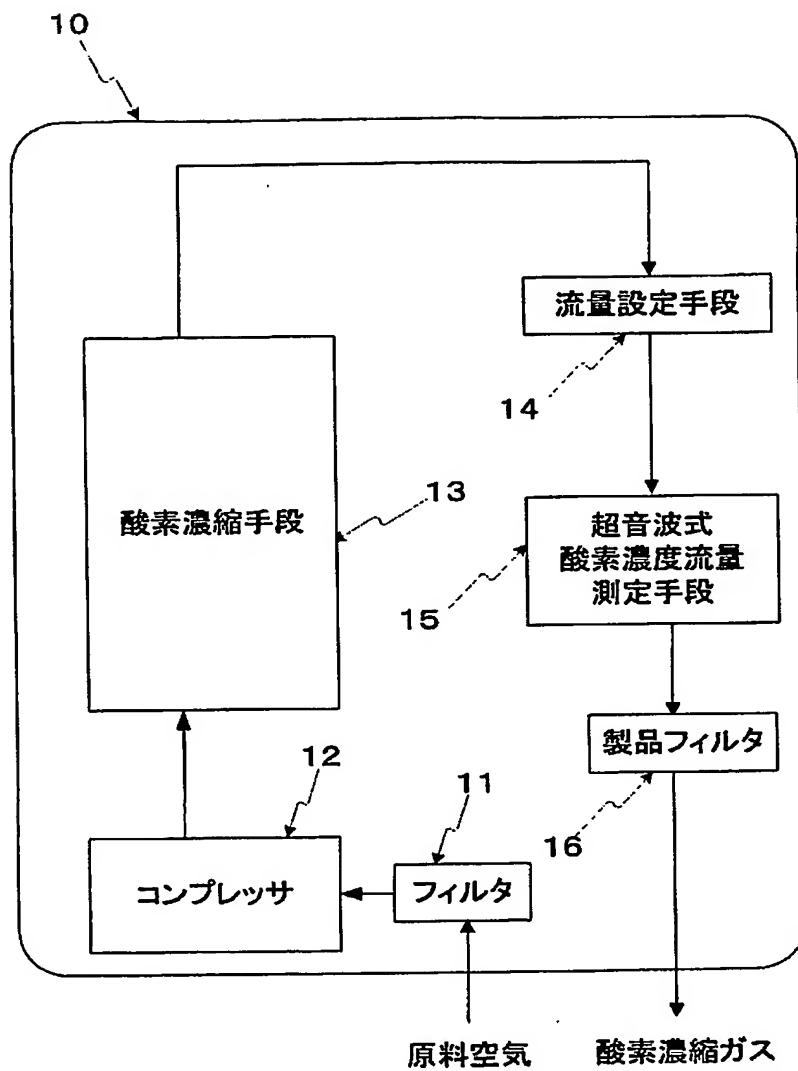
#### 【符号の説明】

- 1 配管
- 2 超音波振動子
- 3 温度センサ
- 4 送受信切り替え器
- 5 ドライバ
- 6 ゼロクロス検出回路
- 7 マイクロコンピュータ
- 8 表示器
- 9 不揮発性メモリ
- 10 酸素濃縮装置
- 11 フィルタ
- 12 コンプレッサ
- 13 酸素濃縮手段
- 14 流量設定手段
- 15 超音波式酸素濃度流量測定手段
- 16 製品フィルタ

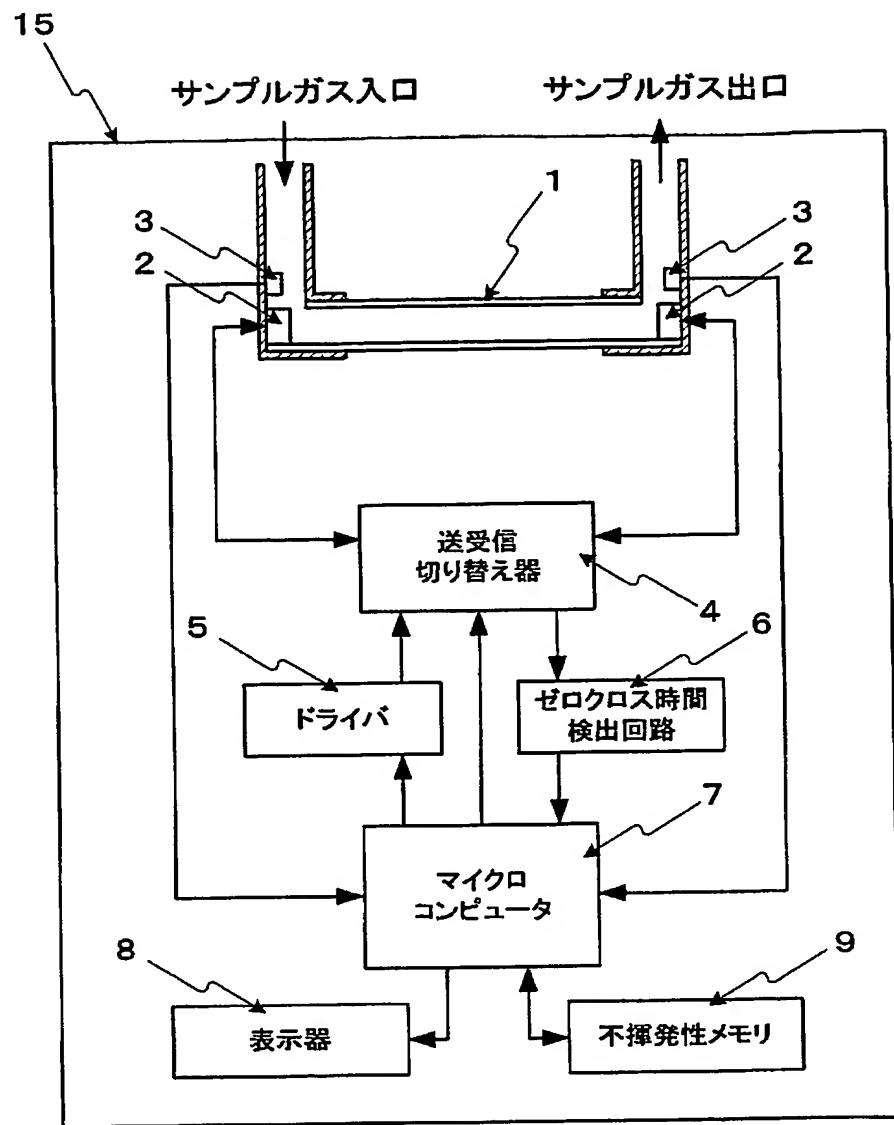
【書類名】

図面

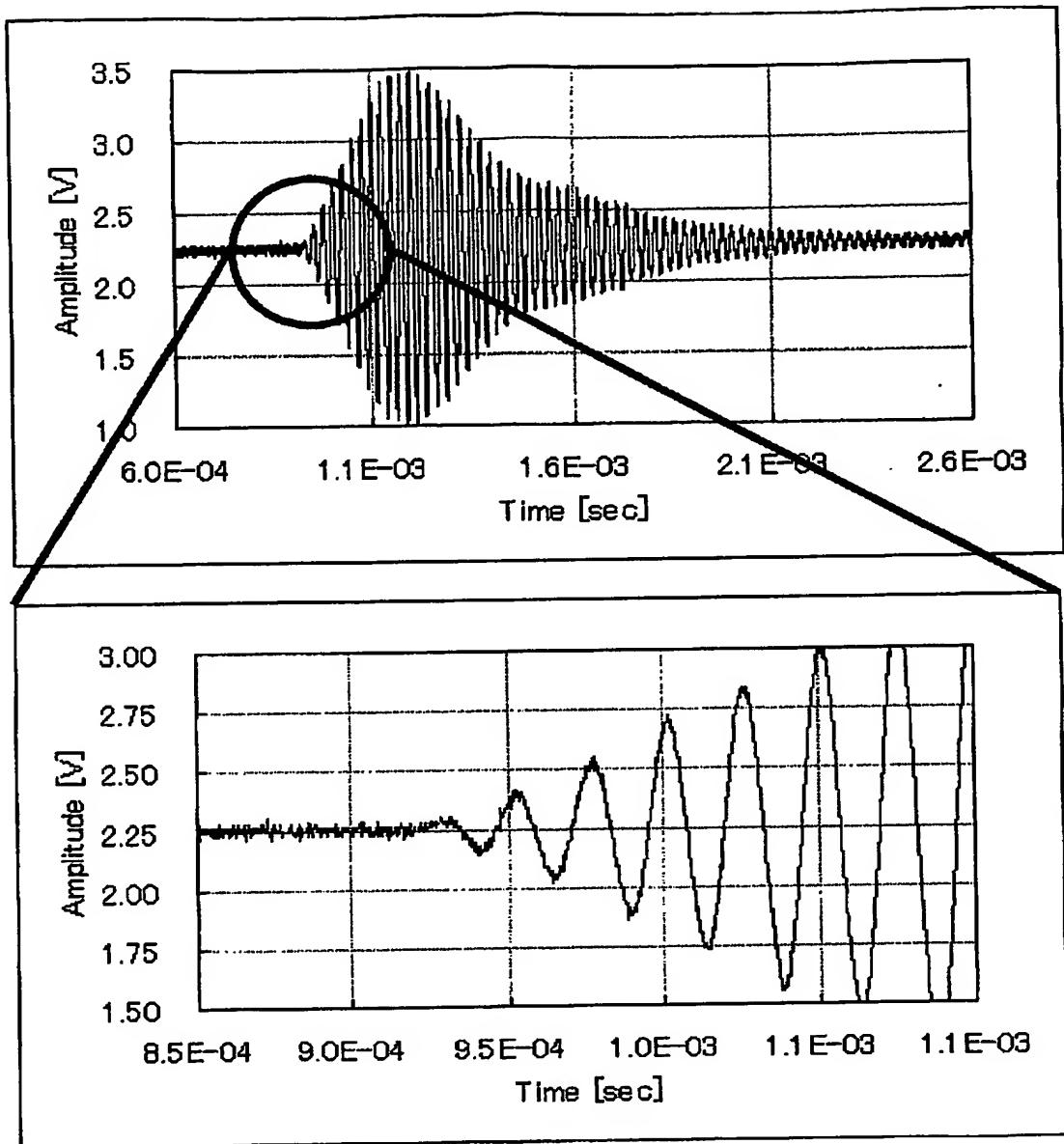
【図 1】



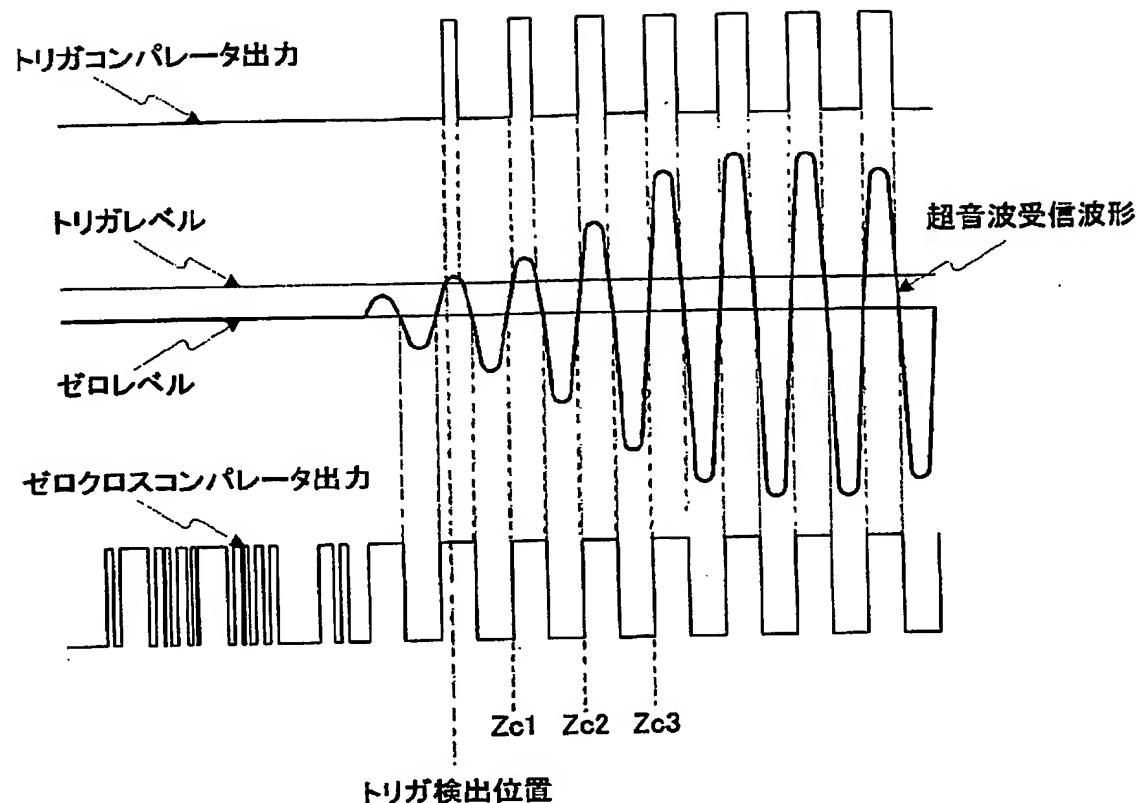
【図2】



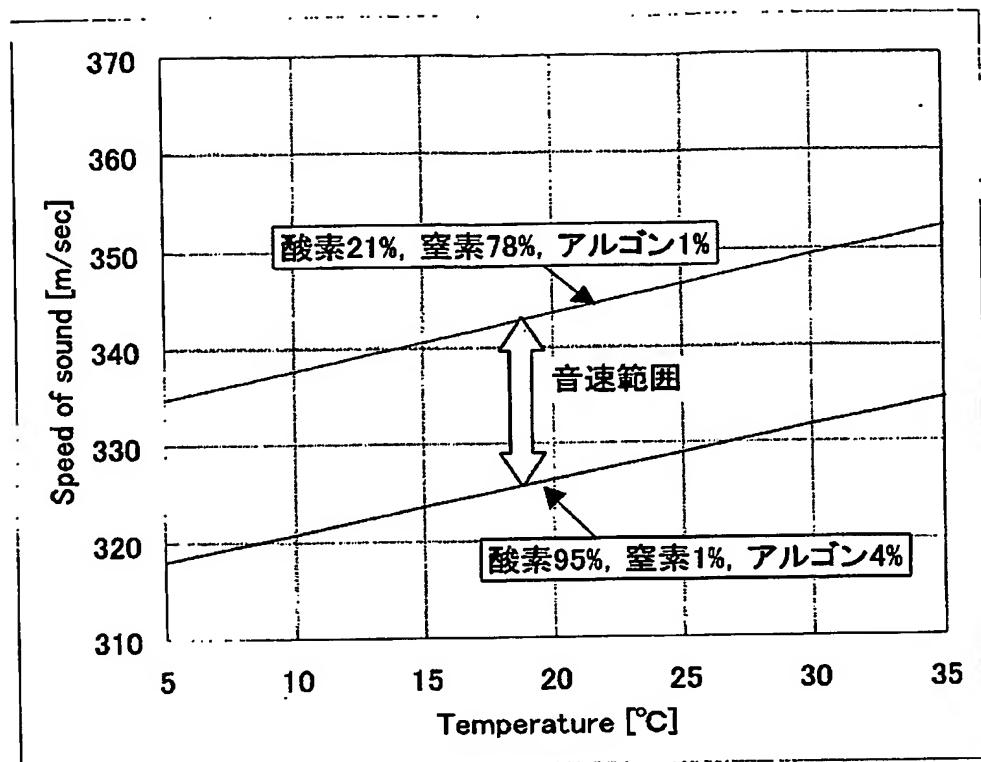
【図3】



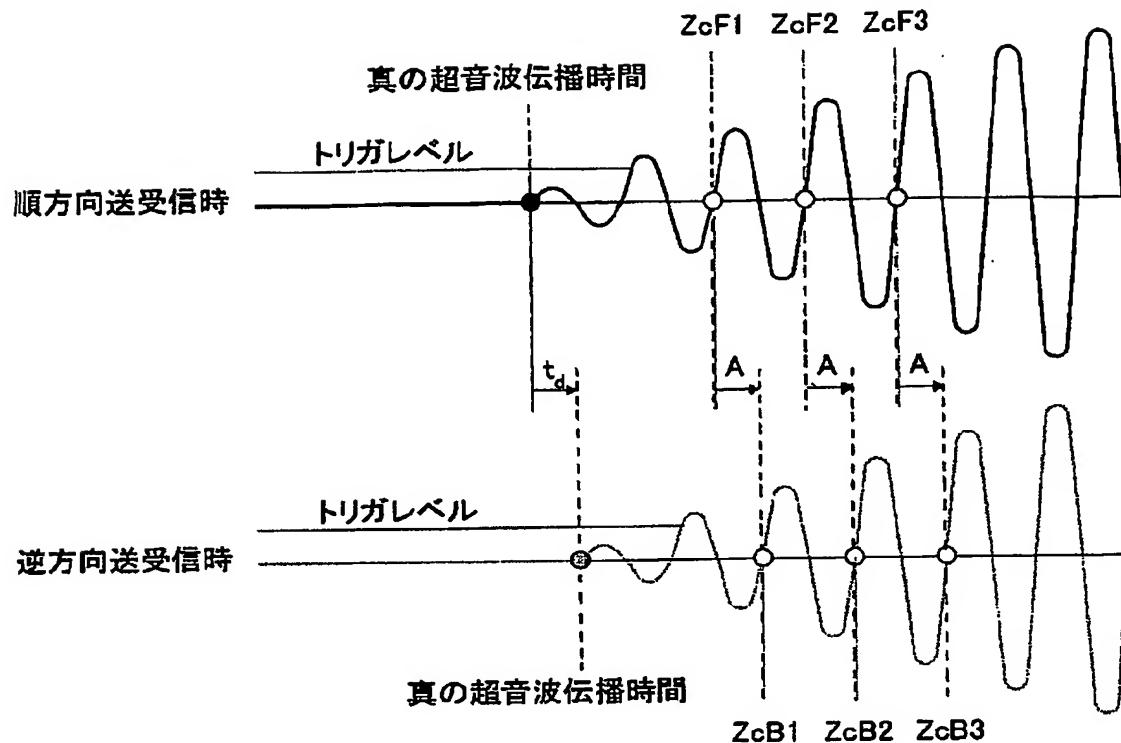
【図 4】



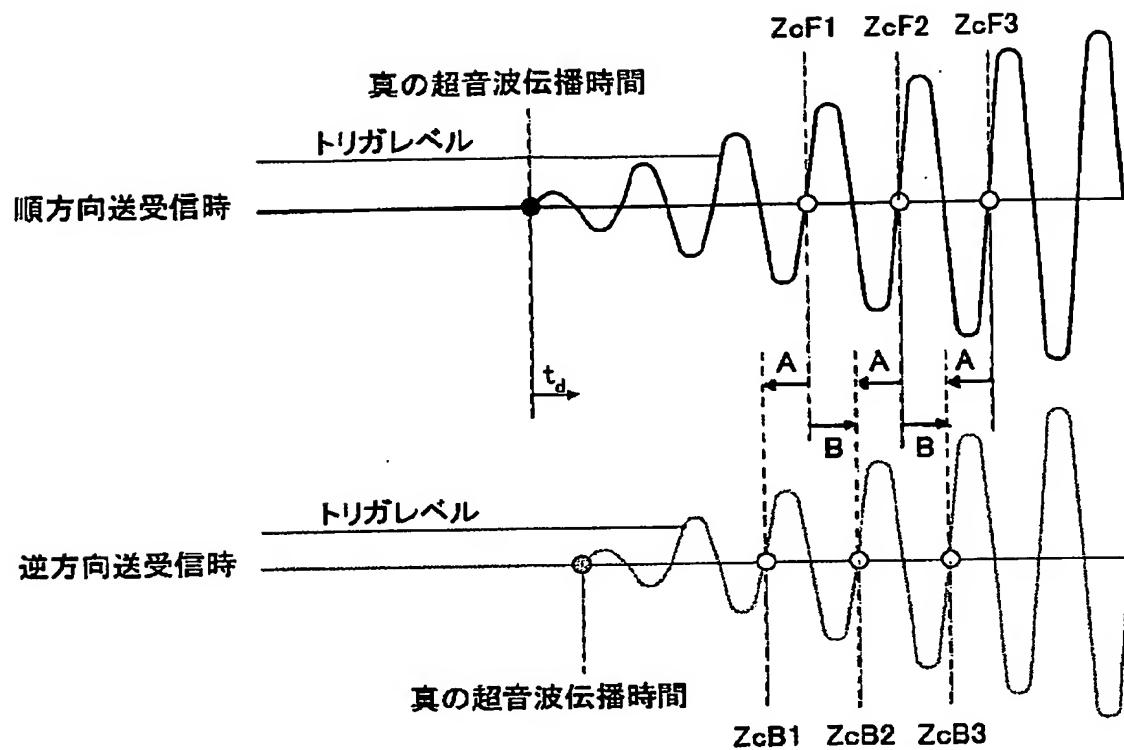
【図 5】



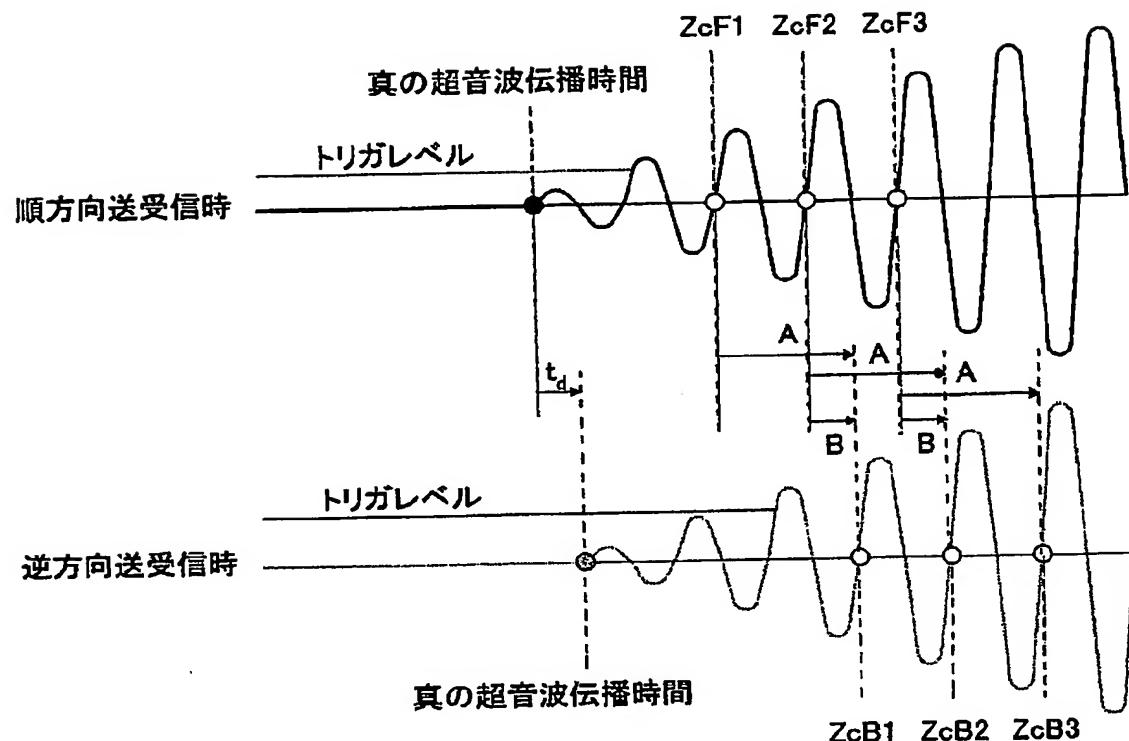
【図6】



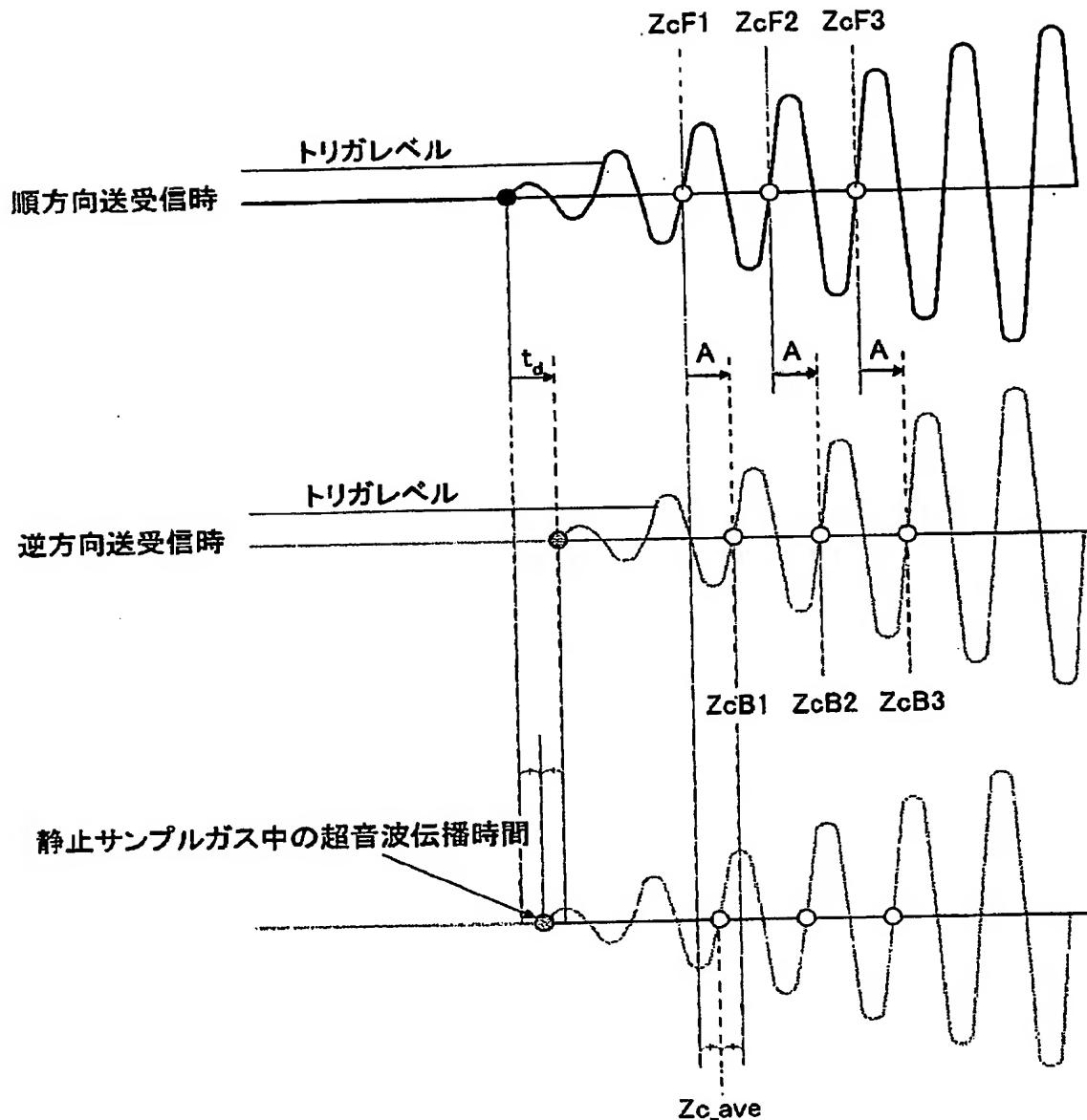
【図7】



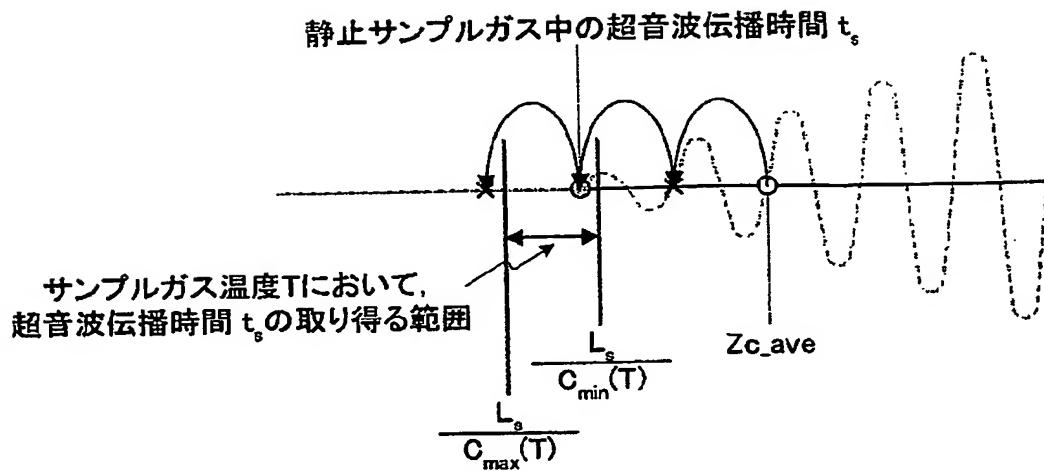
【図8】



【図9】



【図10】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 複雑な信号処理やハードウェアを必要とせずに、酸素濃縮ガスの酸素濃度および流量を測定する超音波式酸素濃度流量測定手段を搭載した酸素濃縮装置を提供する。

【解決手段】 空気中から酸素を分離する酸素濃縮手段、酸素濃縮手段の下流の酸素濃縮ガスの流れる配管中に対向させて配置した2つの超音波振動子、受信超音波のゼロクロス時間検出手段を具備した酸素濃縮装置において、該ゼロクロス時間検出手段が、酸素濃縮ガスの流れに対して順方向に送受信された超音波の受信波形から2つ以上の連続した順側ゼロクロス時間と、酸素濃縮ガスの流れに対して逆方向に送受信された超音波の受信波形から2つ以上の連続した逆側ゼロクロス時間を検出し、該順側ゼロクロス時間と該逆側ゼロクロス時間のトリガ検出位置を揃え、該トリガ検出位置の揃った順側ゼロクロス時間と逆側ゼロクロス時間の平均値から平均ゼロクロス時間を算出し、真の超音波伝播時間の取り得る範囲に入るまで、該平均ゼロクロス時間から受信超音波の1周期分の時間を整数倍巻き戻すことによって真の超音波伝播時間を演算する演算手段を備えることを特徴とする酸素濃縮装置。

【選択図】 なし

特願 2003-168911

出願人履歴情報

識別番号

[000003001]

1. 変更年月日

[変更理由]

住 所

氏 名

1990年 8月28日

新規登録

大阪府大阪市中央区南本町1丁目6番7号

帝人株式会社